Décembre 2014

Série technique 14-102

Évaluation du rendement d'une thermopompe à air pour climat froid

INTRODUCTION

La plupart des Canadiens connaissent la technologie des thermopompes à air sous la forme de conditionneurs d'air (CA). En fait, les conditionneurs d'air assurent la climatisation de 52 % des foyers canadiens et de 80 % des foyers ontariens[1]. Le principe des thermopompes consiste à faire circuler un frigorigène entre un compresseur et le serpentin d'un évaporateur afin de déplacer la chaleur d'un endroit à un autre. Les thermopompes réversibles peuvent assurer la climatisation et le chauffage d'une maison en y introduisant de la chaleur et en l'évacuant.

Les climats froids posent un défi aux fabricants de thermopompes à air. Lorsque la température extérieure baisse, il est plus difficile pour la thermopompe de déplacer la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur. Dans ces circonstances, l'efficacité des systèmes diminue, et il est généralement nécessaire d'utiliser un chauffage d'appoint par températures froides (au-dessous d'un seuil allant de -5 à -15 °C pour la plupart des systèmes classiques, selon le système). Grâce à de récentes avancées technologiques, quelques produits apparaissant actuellement sur le marché canadien sont spécialement conçus pour fonctionner en climat froid : ce sont les thermopompes à air pour climat froid. L'un de ces produits a récemment été évalué durant l'été et durant l'hiver au Centre canadien des technologies résidentielles (CCTR).

La série d'expériences avait pour but d'examiner le rendement d'une thermopompe à air pour climat froid (TA-CF) dans une maison R-2000, sa capacité à maintenir la température de l'air intérieur et sa consommation d'énergie lorsqu'elle fonctionne pendant les saisons de climatisation et de chauffage.

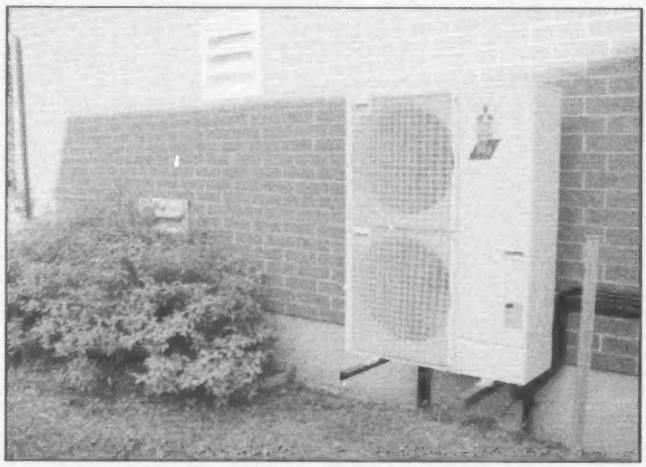

Figure 1 Partie externe de la thermopompe à air installée sur la maison d'essai du CCTR

[1] Office de l'efficacité énergétique de RNCan, Enquête 2007 sur l'utilisation de l'énergie par les ménages (http://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/cuem-sommaire07/climatisation.cfm?attr=0)

Canada

SCHL CMHC

AU CŒUR DE L'HABITATION

PROGRAMME DE RECHERCHE

L'évaluation de la TA-CF a été effectuée au CCTR[2] à Ottawa (Canada). La nature unique des maisons jumelles du CCTR permet non seulement d'étudier les économies d'énergie, mais aussi de dresser un tableau complet du rendement des maisons.

Méthode

La TA-CF a été installée dans la maison d'essai du CCTR (*voir la Figure 1*). La TA-CF, qui possède une capacité maximale de 40 000 Btu/h et un facteur de rendement au cours d'une saison de chauffage évalué à 9,4, a été jumelée à un appareil de traitement de l'air muni d'un moteur à commutation électronique (MCE). Le chauffage d'appoint (lorsque nécessaire) était assuré par un serpentin de chauffage à résistance électrique de 10 kW installé sur le côté alimentation de l'appareil de traitement de l'air.

Afin d'étudier le rendement de climatisation pendant l'été de référence, un conditionneur d'air de deux tonnes possédant un taux de rendement énergétique saisonnier de 13 assurait la climatisation de chaque maison grâce au ventilateur d'un vieux générateur d'air chaud équipé d'un moteur à condensateur auxiliaire permanent (CAP) (moins efficace qu'un MCE) installé pour les besoins de l'expérience. Durant le volet estival de l'expérience, le conditionneur d'air traditionnel a continué de refroidir la maison-témoin, alors que la climatisation de la maison d'essai a été assurée par la TA-CF. Les thermostats centraux ont été réglés à 24 °C et le ventilateur du générateur d'air chaud ou l'appareil de traitement de l'air, lorsqu'il n'était pas en mode climatisation, a fait circuler continuellement l'air à faible vitesse.

Suivant l'évaluation du rendement durant la saison de climatisation, afin de comparer la consommation d'énergie de la TA-CF à celle d'une installation de chauffage typique, les maisons du CCTR ont été comparées durant l'hiver dans des conditions identiques, et le chauffage a été assuré par un nouveau générateur d'air chaud à haut rendement alimenté au gaz (rendement en régime permanent établi à 94 %) muni d'un MCE (l'essai ayant eu lieu l'été a été effectué à l'aide d'un vieux générateur d'air chaud doté d'un moteur de ventilateur à CAP moins efficace). Par la suite, le chauffage de la maison d'essai a été assuré par la TA-CF, alors que la maison-témoin a continué d'être chauffée par le système de référence. Lors de l'étalonnage et du volet hivernal de l'expérience, les thermostats centraux ont été réglés à 22 °C, et le ventilateur du générateur d'air chaud muni d'un MCE ou l'appareil de traitement de l'air muni d'un MCE, lorsqu'il n'était pas en mode chauffage, ont fait circuler continuellement l'air à faible vitesse.

La consommation de gaz et d'électricité du générateur d'air chaud, la consommation d'électricité du chauffe-eau, la consommation d'électricité du conditionneur d'air, la consommation d'électricité de la TA-CF et la température de l'air dans les pièces ont été mesurées pendant toute la durée de l'expérience et de l'étalonnage.

CONSTATS

Comparaison de la climatisation

En moyenne, au cours de l'expérience, le système de TA-CF a permis de réaliser des économies d'énergie frigorifique de 6,2 kWh (32 %) par jour (*voir la figure 2*). Cependant, la plupart des économies réalisées par l'installation de climatisation résultent de l'emploi d'un MCE pour l'appareil de traitement de l'air de la TA-CF. Ce moteur

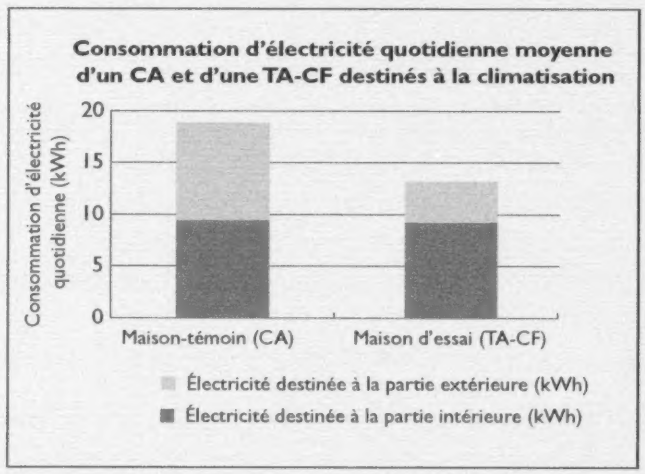

Figure 2 Consommation d'électricité quotidienne moyenne destinée à la climatisation lors de l'expérience

[2] Le Centre canadien des technologies résidentielles est dirigé conjointement par le Conseil national de recherches, Ressources naturelles Canada et la Société canadienne d'hypothèques et de logement. Ce centre de recherche et de démonstration comporte deux maisons R-2000 identiques dotées d'une batterie d'instruments. On y simule l'occupation humaine pour évaluer la performance globale de nouvelles technologies au moyen de tests menés en parallèle. Pour obtenir davantage d'information sur les installations du CCTR, veuillez consulter le site Web http://www.ccht-cctr.gc.ca.

était beaucoup plus efficace que le moteur du ventilateur du générateur d'air chaud de référence utilisé pour faire circuler l'air dans la maison-témoin et consommait 60 % (6,0 kWh par jour) moins d'énergie. Les consommations moyennes du compresseur du conditionneur d'air et du compresseur de la TA-CF étaient semblables.

Les variations de la température de l'air intérieur durant la saison de climatisation étaient plus importantes dans la maison d'essai munie de la TA-CF que dans la maison-témoin équipée du système de conditionneur d'air traditionnel. La variation quotidienne moyenne de la température du rez-de-chaussée de la maison d'essai était de 2,9 °C, alors que celle de la maison-témoin était de 1,9 °C. Ce résultat est probablement dû au système de régulation du thermostat permettant à la TA-CF de fonctionner pendant de longs cycles grâce à une importante zone morte de température.

Comparaison du chauffage

Au cours de l'expérience de chauffage, le système de chauffage à résistance d'appoint de la TA-CF n'était nécessaire que pendant les cycles de dégivrage. La TA-CF a pu satisfaire à toutes les exigences en matière de chauffage, même lors des journées les plus froides, alors que la température extérieure moyenne était de -19,1 °C.

En moyenne, au cours de l'expérience, la thermopompe à air a permis de réaliser des économies d'énergie calorifique de 182,2 MJ (49 %) par jour (*voir la figure 3*).

Performance annuelle

Le coefficient de performance (COP) est une mesure de l'énergie fournie divisée par l'énergie consommée par la TA-CF. Les valeurs du COP de la TA-CF lorsqu'elle était utilisée durant l'été en mode climatisation, durant l'intersaison pour le chauffage et durant l'hiver en mode chauffage sont résumées à la figure 4[3]. Soulignons que les valeurs des COP reproduites ici incluent l'électricité consommée par le ventilateur de l'appareil de traitement de l'air utilisé à basse vitesse pour assurer une circulation d'air continue aux fins de ventilation.

On constate que les valeurs du COP enregistrées durant la saison chaude pour la TA-CF en mode climatisation ont varié, en moyenne, entre 2,4, à une température extérieure de 20,4 °C, et 3,7, à une température extérieure de 28,3 °C. Les capacités allaient, en moyenne, de 1,69 kW (5 766 Btu/h) à 6,11 kW (20 848 Btu/h) respectivement à ces températures extérieures. Les valeurs obtenues pour les COP en mode climatisation révèlent que les coefficients augmentent au fur et à mesure que la température extérieure monte du fait que le système passe proportionnellement moins de temps à fonctionner à basse vitesse en continu pour fins de ventilation, ce qui tend à faire baisser le COP global.

Conformément aux attentes, le froid à l'extérieur a eu une incidence négative sur le fonctionnement de la TA-CF. Cela peut être constaté par le changement au niveau du COP. Lors de la journée la plus chaude au cours de l'expérience

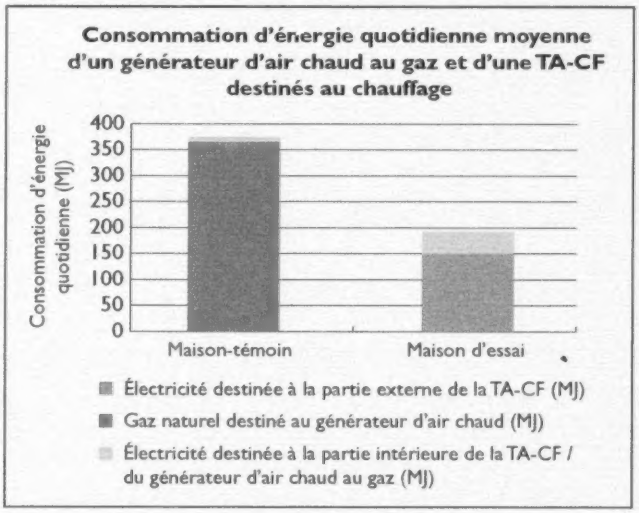

Figure 3 Consommation d'énergie quotidienne moyenne destinée au chauffage lors de l'expérience

[3] Les valeurs des COP ont été obtenues en divisant la puissance de sortie par la puissance d'entrée. La puissance de sortie est une valeur calculée en fonction de la différence d'enthalpie entre l'air de reprise qui retourne au système et l'air d'alimentation qui provient du système. La puissance de sortie inclut la chaleur fournie par l'élément chauffant auxiliaire à résistance électrique lorsqu'il fonctionnait durant les cycles de dégivrage. Il faut mentionner que le ventilateur récupérateur de chaleur (VRC) installé dans la maison était doté d'une prise d'air frais raccordée au circuit de reprise. La température de l'air de reprise était donc sous l'influence de l'air frais fourni par le VRC. Par conséquent, la puissance d'entrée inclut l'électricité consommée par l'élément chauffant auxiliaire durant les cycles de dégivrage ainsi que l'électricité consommée par l'appareil de traitement de l'air lorsqu'il fonctionnait en continu à basse vitesse pour assurer la circulation d'air. Ces facteurs, tout comme d'autres facteurs propres à la maison d'essai du CCTR, pourraient se traduire par la production de données de performance différant des résultats standards de performance issus de la norme CSA 656. Prière de consulter le rapport complet pour obtenir des explications plus détaillées sur les essais effectués.

de chauffage en hiver (alors que la température extérieure moyenne était de 10,3 °C), le COP du système était évalué à 3, ce qui signifie que la thermopompe a fourni trois fois plus de chaleur qu'elle a consommé d'énergie. Cette journée, le système a permis de réaliser des économies d'environ 31 MJ (52 %). Lors de la journée la plus froide au cours de l'expérience de chauffage en hiver (température extérieure moyenne de 19,1 °C), le COP du système était de 1,5. Bien que l'ampleur des économies d'énergie réalisées cette journée ait été plus élevée, à environ 220 MJ, le pourcentage d'économies était moins élevé, 38 %, en raison du COP moins élevé.

Les données de COP en mode chauffage recueillies à des températures d'intersaison, au-dessus de 6 °C environ, déclinent de manière substantielle et deviennent même négatives, comme le montre la figure 4. Cela peut être attribué à différents facteurs relevés : les gains solaires élevés compensent les pertes de chaleur de la maison, et il y a donc très peu de demandes en chauffage (la TA-CF n'est donc pas très utile); le fonctionnement ininterrompu du ventilateur de soufflage afin de maintenir la fonction de récupération de chaleur (VRC) consomme de l'énergie tout en effectuant un travail qui s'avère négatif (c'est-à-dire que le ventilateur récupérateur de chaleur ajoute de l'air neuf froid au flux d'air, ce qui entraîne des situations où l'air de reprise est légèrement plus chaud que l'air d'alimentation); et la TA-CF fait circuler le frigorigène alors que le ventilateur fonctionne sans le compresseur, ce qui peut entraîner un très léger refroidissement du flux d'air d'alimentation.

La TA-CF fonctionnant en mode chauffage durant l'hiver a aussi engendré de plus grandes variations de température dans la maison d'essai que dans la maison-témoin. En moyenne, la bande de fluctuation de la température du rez-de-chaussée de la maison-témoin était de 1,6 °C par rapport au point de consigne du thermostat, alors que celle de la maison d'essai était de 2,8 °C. Comme pour la saison de climatisation, ces variations de température sont sans doute attribuables au système de régulation de la TA-CF. La zone morte du thermostat est importante afin de permettre à la TA-CF d'avoir de longs cycles.

Coûts de fonctionnement

Les coûts de fonctionnement de la TA-CF ont été comparés à ceux du système de référence. L'analyse était fondée sur les coûts locaux d'énergie d'Ottawa de l'été 2012 et de l'hiver 2012-2013. Lors de l'expérience ayant eu lieu pendant la

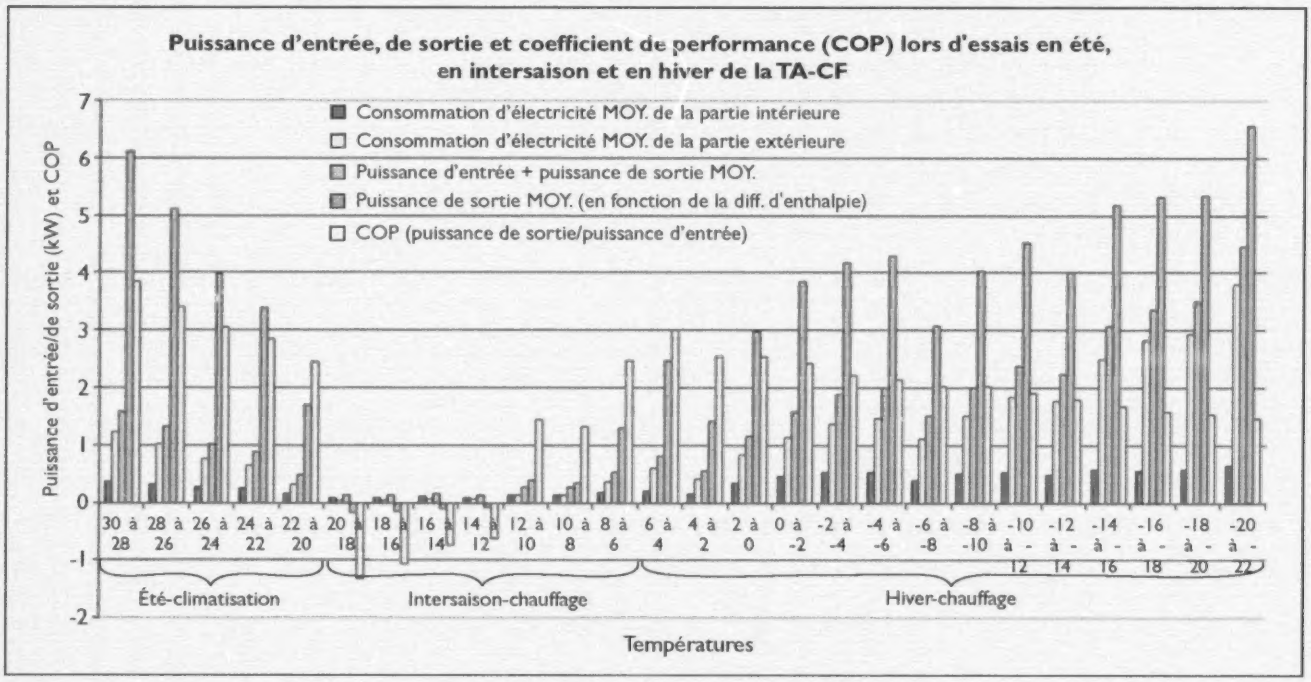

Figure 4 Puissance d'entrée, de sortie et coefficient de performance de la TA-CF obtenus lors d'essais sur un an

saison de climatisation, le système de TA-CF a permis d'économiser 0,75 $ par jour en moyenne, soit des économies sur les coûts de climatisation de 29 %. La plupart de ces économies sont attribuables à l'utilisation d'un MCE pour faire circuler l'air.

Lors de l'expérience ayant eu lieu pendant la saison de chauffage, aux prix courants moyens de l'électricité, qui sont environ 200 % plus élevés que ceux du gaz naturel au même endroit, le fonctionnement du système de TA-CF coûtait 3,66 $ de plus par jour, soit une augmentation des coûts de chauffage de 124 %. Il importe cependant de souligner que si la TA-CF était plutôt comparée à un système de chauffage entièrement électrique, on pourrait s'attendre à des économies d'argent d'une ampleur semblable aux économies d'énergie (~50 %). De même, si la TA-CF était plutôt comparée à une installation fonctionnant au mazout, les économies d'argent seraient d'environ 60 %, et si elle était comparée à une installation au propane, elles seraient aussi d'environ 60 % (ces combustibles de chauffage étant très coûteux). De plus, si les tarifs du gaz naturel revenaient à ceux de 2006 (environ le double des prix d'aujourd'hui), les coûts de fonctionnement du système de TA-CF en période de chauffage seraient environ égaux à ceux du générateur d'air chaud de référence.

Électricité
(source : Hydro Ottawa, janvier 2013 – les prix comprennent les tarifs, le transport, les frais de livraison d'Hydro Ottawa, les frais de service de basse tension, les frais réglementaires et le règlement de la dette)

- Période creuse : 0,10674 $/kWh
- Période de pointe : 0,15274 $/kWh
- Période médiane : 0,13674 $/kWh

Gaz naturel
(source : Enbridge, janvier 2013 – les prix comprennent les coûts, les frais d'approvisionnement en gaz, le transport jusqu'à Enbridge, l'ajustement des coûts)

- 30 premiers m^3 : 24,66 cents/m^3
- 55 m^3 suivants : 24,20 cents/m^3
- 85 m^3 suivants : 23,84 cents/m^3
- Plus de 170 m^3 : 23,57 cents/m^3

Mazout
(source : Statistique Canada, janvier 2013, prix pour Ottawa)

- 129,5 cents/litre

Propane
(source : ministère de l'Énergie de l'Ontario, janvier 2013, prix pour Ottawa)

- 87 cents/litre

LIMITES DE L'ÉTUDE

L'incidence du fonctionnement d'une thermopompe à air variera en fonction des différentes maisons et installations mécaniques. Il faut faire preuve de prudence dans l'application de ces résultats à d'autres maisons en raison de certaines particularités des installations du CCTR.

Voici quelques facteurs dont il faut tenir compte.

- L'installation de référence pour l'été comprenait un ventilateur de générateur d'air chaud à CAP pour la circulation de l'air. Par conséquent, il est probable que les économies réalisées durant la saison de climatisation dues à la TA-CF soient attribuables en grande partie à son appareil de traitement de l'air possédant un MCE plus efficace. La comparaison avec une installation de climatisation standard dont la circulation d'air était assurée par un appareil de traitement de l'air ou par un générateur d'air chaud muni d'un MCE aurait sans doute montré une consommation d'énergie semblable.
- Les maisons sont équipées de ventilateurs récupérateurs de chaleur fonctionnant en permanence, et utilisent le ventilateur du générateur d'air chaud en mode continu pour distribuer l'air frais dans la maison, tout en réduisant au minimum la chaleur perdue. Il s'agit d'une caractéristique des maisons R-2000 découlant de leur niveau élevé d'étanchéité à l'air; cette caractéristique n'est pas commune dans les maisons plus anciennes peu étanches où l'échange d'air se fait sans l'aide d'installations mécaniques ou de récupérateurs de chaleur.
- Pour l'étude, le système de régulation du thermostat de la TA-CF comportait une importante zone morte de température et la TA-CF avait de longs cycles de fonctionnement. Un système de régulation comportant une petite zone morte entraînerait des variations de température quotidienne plus faibles. Afin d'évaluer l'incidence d'un tel système de régulation, il faudrait effectuer des essais supplémentaires et étudier la fonctionnalité du thermostat.

CONCLUSIONS ET CONSÉQUENCES POUR LE SECTEUR DE L'HABITATION

Lors des expériences, il a été démontré que le système de TA-CF avait une incidence importante sur la consommation d'énergie globale de la maison. L'incidence du fonctionnement de la TA-CF variera en fonction des maisons et des installations mécaniques. Par conséquent, les résultats obtenus ne sont valables que pour les maisons jumelles du CCTR, et un logiciel de modélisation énergétique devrait être utilisé pour extrapoler les résultats à d'autres situations.

Le système de TA-CF évalué lors des expériences a pu répondre aux besoins en matière de climatisation et de chauffage de la maison d'essai du CCTR, un bâtiment de 210 m² construit selon les normes R-2000.

Les économies d'énergie et d'argent réalisées pendant l'été grâce au système de TA-CF sont en grande partie attribuables à l'utilisation d'un appareil de traitement de l'air muni d'un MCE. Lors d'expériences précédentes au CCTR, les MCE ont permis de réaliser des économies d'énergie substantielles relativement à la circulation de l'air (~48 %) par rapport aux moteurs à condensateur auxiliaire standard, et sont de plus en plus répandus dans les nouvelles installations mécaniques.

Les économies d'énergie réalisées pendant l'hiver grâce au système de TA-CF ont été substantielles (~49 %) par rapport à celles obtenues grâce à un générateur d'air chaud au gaz naturel. Cependant, dans la région d'Ottawa, le coût du chauffage électrique lié au système de TA-CF était beaucoup plus élevé que le coût du chauffage au gaz naturel. Les variations régionales quant au coût et à la disponibilité des combustibles doivent être pris en compte au moment de choisir une installation de chauffage et de climatisation susceptible de faire économiser de l'argent et de l'énergie aux propriétaires.

On peut obtenir le rapport complet de l'étude auprès de CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada ou du Centre canadien des technologies résidentielles.

Directeur de l'étude : Jeremy Sager, Ressources naturelles Canada, CanmetÉNERGIE

Représentant de la SCHL au Comité de recherche technique du CCTR : Ken Ruest

Recherche sur le logement à la SCHL

Aux termes de la partie IX de la ***Loi nationale sur l'habitation***, le gouvernement du Canada verse des fonds à la SCHL afin de lui permettre de faire de la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et d'en publier et d'en diffuser les résultats.

Le présent Point en recherche fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Pour consulter d'autres feuillets ***Le Point en recherche*** et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web au

www.schl.ca

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Téléphone : 1-800-668-2642
Télécopieur : 1-800-245-9274

68223

©2014, Société canadienne d'hypothèques et de logement
Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL 11-12-14

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La Société canadienne d'hypothèques et de logement se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.